

COMUNICACIÓN DE TRABAJO – CONTRIBUTED PAPER

The Large Aperture GRB Observatory

D. Allard¹, I. Allekotte², C. Alvarez³, H. Asorey², X. Bertou²,
O. Burgoa⁴, M. Gomez Berisso², O. Martínez³, A. Rovero⁵,
O. Saavedra⁶, H. Salazar³, A. Velarde⁴, S. Vernetto⁷, L. Villaseñor^{3,8}
(1) *Department of Astronomy and Astrophysics, University of*
Chicago. USA

(2) *Centro Atómico Bariloche, Instituto Balseiro. Argentina*

(3) *Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la BUAP. México*

(4) *Instituto de Investigaciones Físicas, UMSA. Bolivia*

(5) *Instituto de Astronomía y Física del Espacio. Argentina*

(6) *Dipartimento di Fisica Generale and INFN, Torino. Italy*

(7) *Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario, INAF, Torino. Italy*

(8) *Instituto de Física y Matemáticas, Universidad de Michoacán.*
México

Resumen. El proyecto LAGO (Large Aperture Gamma Ray Burst Observatory) tiene como objetivo la detección de destellos de rayos gamma, fenómenos cosmológicos de tremenda potencia, usando detectores Cherenkov situados en altura. Este documento presenta a los destellos gamma y su detectabilidad desde la Tierra, detallando las posibilidades ofrecidas por detectores en altura (Puebla - Mexico: 4500 m s.n.m., Chacaltaya - Bolivia: 5200 m s.n.m.).

1. Introducción

Los destellos gamma (GRB por sus siglas en inglés: Gamma Ray Burst) fueron por mucho tiempo uno de los mayores enigmas de la astrofísica. Fueron descubiertos en los años 60 por los satélites militares estadounidenses Vela, encargados de monitorear posibles actividades nucleares prohibidas. Aparecen como un flash de fotones muy energéticos ($E > 1$ keV) llegando en un periodo muy corto del orden del segundo.

En los '90, el satélite Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) - con su detector BATSE (Burst And Transient Source Experiment) - aportó importantes informaciones sobre esos destellos. Primero, eran isótropos, y se veía en promedio un destello por día. Segundo, la duración de esos destellos era entre 0.01 y 100 segundos, con dos poblaciones, llamadas destellos cortos (< 2 s) y destellos largos (> 2 s). Por fin, la distribución de luminosidad observada no era compatible con una distribución uniforme de fuentes, ya que se observaba un déficit a baja luminosidad.

Con el satélite Beppo-SAX, lanzado en 1996, un nuevo paso se hizo en la comprensión de los GRB. Beppo-SAX permitió la detección de contrapartes de los destellos largos en otras bandas de energía, en X con sus propios instrumentos, y en óptico comunicando las coordenadas de los destellos detectados a otros te-

lescopios. Las observaciones en el óptico permitieron - midiendo el doppler de la líneas de absorción y emisión típicas - determinar el redshift de los GRB. Eran cosmológicos, y el déficit a baja luminosidad se explica por la expansión del universo (los destellos de baja luminosidad son destellos lejanos, y la expansión del universo nos permite ver menos de los esperados). Una vez medida la distancia, se pudo deducir una luminosidad absoluta de entre 10^{51} y 10^{54} erg, correspondiendo en un segundo a lo que emite nuestra galaxia en algunos años. Eran fenómenos cataclísmicos.

Con SWIFT (2004-), se observaron contrapartes ópticas también para destellos cortos, confirmando el entendimiento más aceptado sobre las posibles fuentes de destellos gamma: los cortos serían el resultado del choque entre dos estrellas de neutrones o agujeros negros en un sistema binario, mientras que los largos provendrían de hypernovae, explosiones de estrellas tipo supernovae cuyas masas serían mayor a 10 masas solares.

En los dos casos, un mismo modelo describe el destello: el modelo de la bola de fuego (Fireball model). La explosión produce jets colimados ultrarrelativistas ($\Gamma \approx 200$ o más), y choques internos producen los fotones vistos en el destello. La interacción del choque con el medio interestelar produce la contraparte en otras longitudes de onda. Para más información, uno se puede referir al trabajo reciente de Mészáros (2006).

Hasta el día de hoy, el mayor aporte al conocimiento de los GRB vino de los satélites. Si bien el espectro en energía de esos destellos se conoce bien a bajas energías, se tiene muy poca información sobre la parte de altas energías (>1 GeV). El detector EGRET a bordo del CGRO detectó la contraparte de alta energía de 16 GRB, con un fotón de 18 GeV como mayor energía. A esas energías, los flujos son demasiado bajos para los satélites, e intentar observar los GRB desde el suelo parece ser la única solución.

2. Detección de GRB desde la Tierra

La ventaja que tiene un detector terrestre sobre uno espacial es esencialmente su tamaño. Mientas el metro cuadrado parece ser un límite de superficie de detección en el espacio, uno puede razonablemente hablar desde decenas hasta miles de metros cuadrados en el suelo.

Fotones de energía mayor a 1 GeV desarrollan una cascada electromagnética en la atmósfera, y se puede detectar los fotones a traves de esa cascada. Pero uno se enfrenta con un importante fondo de rayos cósmicos comunes, y con la absorción atmosférica que limita la observación solo a las más altas energías.

Experimentos como MILAGRO o ARGO/YBJ intentan detectar destellos gamma a traves de sus cascadas. La única indicación de detección de un destello gamma por este método fue el GRB970417 por Milagruto, el prototipo de MILAGRO, con una posible señal a 3σ (ver Atkins, R, et al, 2000).

2.1. Single Particle Technique

Otro método es la técnica de la partícula sola, Single Particle Technique en inglés. Como las cascadas de fotones originadas por destellos gamma están muy absorbidas, la idea consiste en no intentar detectar la cascada, sino a lo mejor una sola partícula de la cascada. Si muchos fotones provienen del destello, uno

puede esperar observar durante unos segundos varios fotones secundarios. Si esta cantidad es mayor a la fluctuación del fondo de fotones, se podría detectar el destello.

Ese método tiene como ventaja una disminución importante del umbral de detección, ya que no es necesario que la cascada llegue al detector. Por otro lado, ninguna reconstrucción se puede efectuar, y la única información que se obtiene es la ocurrencia del destello.

Sin embargo, con varios niveles de disparo y una segmentación temporal suficiente, se podría aportar información sobre la estructura temporal y energía máxima de los destellos, cosas totalmente desconocidas al día de hoy.

Este método ya fue aplicado a datos de varios detectores, sin éxito. La principal limitación de los detectores que intentaron ver destellos gamma es su falta de sensibilidad a los fotones. Por varias razones, muchos detectores de rayos cósmicos usan centelladores plásticos. En una cascada originada por un fotón, el 90 % de las partículas secundarias al nivel del suelo son fotones, los cuales interactúan muy poco en los centelladores plásticos, ya que estos tienen poco espesor.

Otros detectores comunes en física de rayos cósmicos son los tanques Cherenkov de agua. Estos detectores se componen típicamente de un volumen de agua de 1 m o más de profundidad, y detectan el pasaje de una partícula por la luz Cherenkov que produce al atravesar el agua. Un metro de agua asegura una conversión de un fotón en un par e^+e^- , haciendo esos detectores sensibles a los fotones. A igual superficie, un tanque Cherenkov detectará 10 veces más partículas que un centellador plástico.

2.2. Observatorio Pierre Auger

El Observatorio Pierre Auger, ubicado en Malargüe, provincia de Mendoza, se dedica al estudio de los rayos cósmicos de las más altas energías ($>10^{19}$ eV). Con ese fin, cuenta con 24 telescopios de fluorescencia y 1600 tanques Cherenkov de agua de 10 m^2 de superficie (ver por ejemplo Pierre Auger Collaboration 2005). El sistema de comunicación del Observatorio es tal que los 1600 detectores envían datos al sistema de adquisición central cada segundo. Ese gigante (con una superficie total de 16000 m^2) está ubicado a 1400 m sobre el nivel del mar, lo cual limita seriamente su eficiencia por causa de la absorción atmosférica. El ancho de banda limitado entre los detectores y la central tampoco permite transmitir un gran caudal de información.

En todo caso, el Observatorio presenta una buena prueba de funcionamiento, y se implementó en Marzo de 2005 un sistema de scaler contando en cada tanque la cantidad de partículas de baja energía detectadas en cada segundo. El nivel de disparo es de 6 fotoelectrones ($\approx 8\text{ MeV}$), con un límite superior de 40 fotoelectrones para reducir el fondo muónico. Esos niveles de disparo están impuestos por el funcionamiento del Observatorio, y no se pueden optimizar ya que el Observatorio apunta a la detección de cascadas de alta energía, mientras que uno quiere ver fenómenos de baja energía para detectar los secundarios de los destellos gamma.

Los datos almacenados son analizados para buscar excesos significativos en la tasa de conteo. Después de un año de funcionamiento, los únicos excesos detectados provinieron de interferencias electromagnéticas producidas por las fuertes tormentas veraniegas de Malargüe. En esas tormentas, se produce ruido electró-

nico de alta frecuencia que el detector identifica incorrectamente como partículas seguidas. Se pueden aislar esos eventos fácilmente mirando la uniformidad de los excesos sobre todo el arreglo. Si uno detecta un destello gamma, se espera un aumento uniforme de la tasa de conteo en todos los detectores. Los eventos relámpagos se caracterizan por un aumento localizado en unos 10-20 detectores vecinos.

Simulaciones indican que con sus 1600 detectores a 1400 m, el Observatorio Pierre Auger tiene un potencial de detección de destellos gamma equivalente a 1000 m² de centelladores a 5000 m de altura, y del orden de magnitud del de ARGO/YBJ en Tibet, el mejor candidato a detectar GRB desde el suelo con sus 6500 m² de RPC (ver Allard et al, 2005 para más detalles sobre las simulaciones).

2.3. Detectores en Altura

Con el fin de liberarse de las limitaciones del Observatorio Pierre Auger, conviene tener un detector dedicado a la detección de destellos gamma con el método de la partícula sola. Se puede en ese caso trabajar con los fototubos a más alta ganancia, y usar un nivel de disparo más bajo, el fotoelectrón. Con una adquisición dedicada, se puede también aumentar el flujo de datos y contar partículas cada milisegundo.

La absorción en la atmósfera es tal que a 1400 m s.n.m. (Auger), la cantidad de partículas es 100 veces menor que a 5200 m de altura (Observatorio de rayos cósmicos de Chacaltaya, Bolivia), mientras que el ruido es algo como 8 veces menor. Un detector Cherenkov tipo Auger en el cerro Chacaltaya sería por lo tanto equivalente a $(100/\sqrt{8})^2 = 1250$ detectores a la altura de Auger. Con 20 m² de detector a 5200 m de altura, uno tiene un umbral menor al de los 1600 detectores del Auger, sin tomar en cuenta las mejoras provenientes de la frecuencia de toma de datos o del umbral al fotoelectrón.

Dos sitios fueron elegidos (Sierra Negra, cerca de Puebla, México, 4600 m s.n.m. y Cerro Chacaltaya, cerca de La Paz, Bolivia, 5200 m s.n.m.) para ubicar detectores Cherenkov de agua. El sitio de México cuenta con varios detectores instalados (ver Alvarez et al, 2005). Actualmente se están efectuando mediciones para caracterizar el fondo a esas alturas y latitudes.

Se piensa usar electrónica prototipo del Observatorio Pierre Auger para leer las señales de los detectores, y las tasas de contaje a varios niveles de umbral estarían determinadas cada milisegundo y guardadas en una PC de adquisición. Un prototipo del sistema de adquisición esta funcionando con un detector en el Centro Atómico Bariloche.

3. Conclusión

Los destellos gammas, despues de ser un gran enigma durante más de 30 años, empiezan a develar sus misterios. La emisión a alta energía es una de las incógnitas que siguen siendo válidas. El flujo a esas energías hace difícil la tarea de los satélites, y la única posibilidad parece ser la detección desde la Tierra.

Los detectores Cherenkov de agua se presentan como los más eficientes al momento de detectar secundarios de una cascada fotónica, por su sensibilidad a los fotones secundarios que dominan la cascada.

El Observatorio Pierre Auger, con sus 1600 detectores Cherenkov de agua a 1400 m s.n.m. es un detector muy competitivo para la detección de destellos gamma por el método de la partícula sola. Su sensibilidad es similar a la de ARGO/YBJ, el principal detector en el tema.

El proyecto LAGO (ver LAGO, 2006) se propone mejorar ese potencial usando detectores Cherenkov de agua en alta montaña, con una adquisición dedicada. En dos sitios en México y Bolivia se están colocando detectores, mientras la adquisición se está desarrollando en Bariloche. Se espera una integración del sistema y un flujo de datos estable para el fin del 2006.

Agradecimientos. Estamos muy agradecidos al Proyecto Pierre Auger por habernos dejado usar electronics prototipos del Observatorio y a la Asociación Argentina de Astronomía por la posibilidad de compartir ese trabajo con la comunidad Argentina de Astronomía.

Referencias

- Mészáros, P. 2006, de próxima aparición en Rept. Prog. Phys., e-Print astro-ph/0605208
- Atkins, R, et al, 2000, ApJ, 533:L119
- Pierre Auger Collaboration 2005, 29th International Cosmic Ray Conference, e-Print astro-ph/0604114
- Allard, D, et al, 2005, 29th International Cosmic Ray Conference, y Bertou, X & Allard, D Nucl. Instrum. Meth. A553: 299-303, 2005
- Alvarez et al, 2005, 29th International Cosmic Ray Conference
- LAGO 2006, <http://cabtep5.cnea.gov.ar/experiments/lago/>